

## مقایسه افزودن کمپوست و ورمی کمپوست به خاک های آلوده به ترکیبات نفتی جهت حذف آلاینده ها در راکتور های هوازی و بی هوازی

وحید محمدی، عبدالمجید فدایی\*، مهربان صادقی، محسن اربابی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۶

### چکیده:

زمینه و هدف: هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای از مواد شیمیایی بالقوه خطرناک برای محیط زیست محسوب می شوند. این ترکیبات به علت سمیت، سرطان زایی و جهش زایی توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در ردیف آلاینده های مقدم قرار گرفته اند. این پژوهش با هدف مقایسه کمپوست و ورمی کمپوست با کاربرد راکتور های هوازی و بی هوازی در حذف آلاینده های نفتی از خاک های آلوده انجام گرفت.

روش بررسی: این مطالعه از نوع تجربی مداخله ای است که به صورت پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی انجام گردید. به این منظور توده ای از خاک به صورت مصنوعی با نسبت ۱۲۰ گرم نفت و یک کیلو خاک آغشته و تهیه شد. و این ترکیب به نسبت ۲ قسمت خاک و یک قسمت کود کمپوست و یا ورمی کمپوست (۱:۲) به صورت جداگانه مخلوط گردید. فناترن به عنوان نماینده این ترکیبات انتخاب و با روش التراسونیک استخراج و به کمک دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) اندازه گیری گردید.

یافته ها: یافته ها نشان داد که حذف موثر در دو هفته اول اتفاق می افتد و سپس سرعت حذف کاهش می یابد. میانگین درصد حذف غلظت فناترن در راکتورهای هوازی کمپوست و ورمی به ترتیب  $89/5 \pm 9/0$  و  $91/7 \pm 7/0$  و در راکتورهای بی هوازی در همین زمان به ترتیب  $19/2 \pm 5/1$  و  $26/6 \pm 5/0$  درصد بود که راکتور هوازی ورمی کمپوست با میانگین درصد حذف  $91/7 \pm 7/0$  از غلظت فناترن اولیه بیشترین راندمان را داشته است.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در دمای محیط با استفاده از روش های تصفیه زیستی می توان اقدام به پاکسازی ترکیبات پلی آروماتیک نفتی از خاک های آلوده نمود.

واژه های کلیدی: تصفیه زیستی، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، خاک آلوده به نفت، کمپوست، ورمی کمپوست.

### مقدمه:

فراورده های نفتی وارد محیط زیست می شوند و به خاطر خاصیت پایداریشان در محیط زیست، یکی از متداول ترین آلاینده ها هستند که در خاک یافت می شوند و اثرات نامطلوبی ایجاد می کنند (۱). در آلودگی های که در محل اتفاق می افتد غلظت آلودگی در محل به حدی می رسد که تمام سیستم های حیاتی آن محل را با تهدید جدی روبرو می کند (۲،۳).

هیدروکربن های معطر چند حلقه ای به ترکیباتی اطلاق می شوند که دارای دو یا چند حلقه بنزنی به صورت خطی، زاویه دار و یا خوشه ای هستند و عمدتاً در ۱۵ ترکیب (بنزن، تولوئن، زایلن، فناترن، گزیلن، پایرن، آنتراسن و بنزو-آ-پیرین) مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. این ترکیبات از طریق احتراق ناقص مواد آلی در طی فرایند تجزیه حرارتی و همچنین از تأسیسات پالایش و پخش

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای یکی از متداول ترین آلاینده های نفتی به شمار می آیند که در بیشتر زمین ها و محل های احداث تأسیسات نفت و گاز، کارخانه تولید قیر و آسفالت خطری زیست محیطی جهت خاک های آن مناطق محسوب می گردد و به علت سمیت، توان سرطان زایی و پایداری و تجمع پذیری این ترکیبات در محیط زیست بسیار خطرناک هستند (۴). نشأت این ترکیبات در خاک با ایجاد شرایط بی هوازی، منجر به نابودی کلی میکروارگانیسم های خاک می گردد و همچنین فعالیت زیستی گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می دهد (۵). با توجه به نقش کلیدی باکتری های زنده در روش پاکسازی زیستی، هر مطالعه زیستی جدید محسوب می شود و نوآوری خاص خود را دارد. هزینه های راهبری و عملکردی پایین، حذف آلاینده های موجود در خاک به موادی سازگار با محیط زیست نظیر آب، دی اکسید کربن و بیو مس، ارتقاء سطح کیفی خاک و استفاده مجدد از خاک آلوده برخی از جنبه های نوآوری و جدید بودن این روش محسوب می شود. لازم به ذکر است که هیچ میکروارگانیسمی به تنهایی قادر به تجزیه کامل هیدروکربن های نفتی نیست و انواع باکتری ها، قارچ ها و اکتینومیسیت ها در این کار نقش دارند (۶). در کشور ما که ۹٪ ذخایر نفتی جهان را در اختیار دارد پاکسازی زیستی این ترکیبات از خاک های آلوده به عنوان یک روش اقتصادی، توانمند و سازگار با محیط زیست ضرورت دارد.

از طرفی به علت آزادسازی اتفاقی و غیر اتفاقی مواد نفتی مقادیر زیادی ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای به صورت مستقیم (نشأت از پالایشگاه ها، مخازن، خطوط انتقال و ...) و از طریق غیر مستقیم (ریزش باران های سیاه و چرب) وارد خاک می شوند. نظر به اینکه توان خود پالایی خاک به علت کم بودن مبادله آن از هوا و آب کمتر است و همچنین پاکسازی این ترکیبات با نفوذ به عمق های پایینتر خاک به سختی امکان پذیر است و خطر آلودگی آب های زیرزمینی را

نیز به همراه خواهند داشت، همچنین فراریت این ترکیبات از خاک به اتمسفر و خاصیت پایداری و موتاژنیک بودن، از آلاینده های هوا نیز محسوب می شوند؛ لذا پاکسازی زیستی این ترکیبات از خاک به گونه ای که با محیط زیست سازگار باشد یک ضرورت است. در این مطالعه جهت حذف فنانترن که یکی از هیدروکربن های آروماتیک با سه حلقه زاویه دار بنزن است از خاک های آلوده از روش های تهویه زیستی که از تکنیک های پاکسازی زیستی محسوب می شوند (۷) استفاده شده است. تحریک بیولوژیکی یعنی بهبود شرایط محیطی برای تحریک باکتری های موجود که توانایی زیست پالایی دارند (۸، ۹) و تهویه زیستی یعنی اکسیژن لازم را برای تحریک طبیعی میکروارگانیسم ها به منظور حذف ترکیبات هیدروکربن های حلقوی از خاک در خاک فراهم می آورد و باعث افزایش سرعت فروپاشی طبیعی آلاینده ها می گردد (۱۰).

ورمی کمپوست یا کمپوست کرمی عبارتست از کود آلی بیولوژیکی و نیمه هوازی حاصل از فعالیت گونه هایی از کرم های خاکی که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش این کرم ها و دفع این مواد از بدن کرم ها حاصل می گردد. این مواد هنگام عبور از بدن کرم آغشته به مخاط دستگاه گوارش (موکوس)، ویتامین ها و آنزیم ها شده که در نهایت به عنوان یک کود آلی غنی شده و بسیار مفید به عنوان اصلاح کننده ی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک استفاده می شود. کمپوست از کلمه کمپوست به معنی مخلوط و یا مرکب اقتباس شده است و به عمل تجزیه مواد آلی نامتجانس که به وسیله میکروارگانیسم های مختلف در حضور رطوبت و گرما در محیط هوازی صورت می گیرد گفته می شود (۱۱).

در این مطالعه با کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست تحت شرایط یکسان و کنترل شده از نظر دما، رطوبت و هوا میزان تجزیه زیستی فنانترن از

خاک های آلوده مورد بررسی قرار گرفت. به طور مسلم نتایج این مطالعه می تواند در جهت توسعه روش های منطبق با محیط زیست به منظور حذف و پاکسازی آلودگی های نفتی بسیار موثر باشد. این مسئله به خصوص از آن لحاظ حائز اهمیت می باشد که به سبب سرعت رشد توسعه و صنعتی شدن کشور نیاز به توجه و گسترش روش های کاهش آلاینده ها که سازگار با محیط زیست باشند یک ضرورت انکار ناپذیر خواهد بود؛ بنابراین این مطالعه با هدف بررسی امکان سنجی تصفیه زیستی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی به کمک کمپوست و ورمی کمپوست در شرایط هوازی انجام شد.

### روش بررسی:

این مطالعه از نوع تجربی مداخله ای است که به صورت پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی انجام گردید. در این مطالعه از تکنولوژی های پاکسازی زیستی به منظور تحریک باکتری های بومی خاک جهت پاکسازی زیستی فنانترن استفاده شد. برای این منظور پس از نمونه برداری، خاک با نسبت ۱۲۰ گرم نفت و یک کیلو خاک با نفت سفید آغشته گردید و این ترکیب به صورت جداگانه به نسبت ۲ به ۱ با کودهای کمپوست و ورمی کمپوست به منظور تأمین مواد غذایی مورد نیاز میکروارگانیسم ها به صورت کاملاً یکنواخت و همگن مخلوط گردید.

به منظور مقایسه توان و پتانسیل پاکسازی کودهای کمپوست و ورمی کمپوست، ۳ سری راکتور (هوازی، بی هوازی و بدون فعالیت زیستی) طراحی و استفاده گردید. از الگوی هوادهی ممتد و از پایین راکتور (UP flow) با دبی ۳/۵ لیتر در دقیقه جهت هوادهی هر راکتور هوازی استفاده شد. جنس راکتورها از لوله های سیمانی با ارتفاع ۶۰ و قطر ۱۵ سانتی متر و حجمی معادل ۷/۵ لیتر انتخاب شد. فاکتورهای دما، رطوبت و کربن به نیتروژن (C/N) در کلیه راکتورها

یکسان و کمپوست و ورمی کمپوست، به عنوان مواد غذایی افزودنی جهت تحریک باکتری های بومی خاک و همچنین میزان هوای قابل دسترس باکتری ها در ارتفاعات متفاوت درون راکتور (۱۰-۳۰-۵۰ سانتیمتری از کف راکتور)، در زمان های صفر (اختلاط)، ۱۴، ۴۰، ۱۰۰ روز حذف فنانترن مورد بررسی قرار گرفتند. قبل از بارگذاری راکتورها از این مخلوط یک نمونه به روش نمونه برداری مرکب برداشت و به عنوان نمونه اولیه جهت استخراج و اندازه گیری مقدار فنانترن موجود به آزمایشگاه ارسال شد. پس از انجام مراحل آزمایش و تعیین راندمان استخراج غلظت اولیه فنانترن معادل ۲۵۰ mg/kg تعیین شد. به منظور تعیین راندمان استخراج فنانترن ۱ گرم خاک نرم شده ی پاک با ۱ سی سی فنانترن با غلظت ۵۰۰ ppm به صورت مصنوعی در محیط آزمایشگاه آلوده شد و توسط دستگاه HPLC اندازه گیری گردید. از غلظت ۵۰۰ ppm اولیه ۳۹۴ ppm قرائت شد که راندمان استخراج برابر ۸۰٪ تعیین شد؛ لذا کلیه داده های به دست آمده از دستگاه HPLC در عدد ۱/۲۵ ضرب شد تا اعداد واقعی شوند.

نمونه ها در ۳ دوره زمانی ۱۴ روز، ۴۰ روز و ۱۰۰ روز از راکتورها برداشت و به آزمایشگاه ارسال شد. در آزمایشگاه نمونه ها در درون بوته چینی سابیده شد تا کاملاً نرم شوند؛ سپس ۲ گرم از خاک آلوده نرم شده را با ۲ گرم سولفات سدیم ترکیب شد تا کاملاً خشک شود. سپس نمونه خاک کاملاً خشک شده با ۴ میلی لیتر استونیتریل مخلوط و جهت هموژن شدن و جداسازی فنانترن به مدت ۱ ساعت در داخل حمام التراسونیک قرار داده شد. بعد از خروج نمونه ها از داخل حمام، به مدت ۱۵ دقیقه در حالت سکون جهت ته نشینی قرار داده شدند؛ سپس نمونه ها سانتریفوژ و از فیلتر با پور سایز ۰/۲ میکرومتر عبور داده شد. جهت اندازه گیری فنانترن از محلول خروجی از فیلتر، از دستگاه کروماتوگرافی با عملکرد بالا (HPLC) مدل Agilent که مجهز به پمپ مدل ۹۰۱۲ و دتکتور U.V مدل ۹۰۵۰ است جهت آنالیز فنانترن موجود در نمونه ها

کودهای کمپوست و ورمی کمپوست معنی دار نبود (جدول شماره ۲).

## جدول شماره ۲: ویژگی های کودهای کمپوست و

ورمی کمپوست مورد استفاده

پارامترها	نوع کود	کمپوست	ورمی کمپوست
ازت کل*	۱/۸۰±۰/۲۰	۲/۸۰±۰/۵۰	
فسفر کل*	۰/۳۵±۰/۰۲	۰/۴۷±۰/۰۳	
پتاسیم کل*	۰/۴۸±۰/۰۲	۰/۷۰±۰/۲۰	
کلسیم کل*	۲/۲۷±۰/۵۰	۴/۴۰±۰/۵۰	
منیزیم*	۰/۵۷±۰/۳۰	۰/۴۶±۰/۰۳	
کربن آلی*	۲۷/۰۰±۱۱/۰۰	۲۹/۱۱±۵/۰۰	
هدایت الکتریکی**	۳/۶۰±۰/۴۶	۷/۳±۰/۴۰	
آهن کل***	۴۱۶۹/۰۰±۱۴۳/۰۰	۷۵۶۳±۲۳۴	
روی کل***	۷۲۸/۰۰±۲۳۱/۰۰	۹۷۸±۲۱۸	
منگنز***	۴۱۴/۰۰±۸۵/۰۰	۴۷۵±۴۵	
مس***	۹۰/۰۰±۳۰/۰۰	۱۲۸±۴۳	
pH	۷/۸۰±۰/۴۰	۸/۶±۰/۵۰	

اختلاف بین دو گروه در کلیه شاخص ها معنی دار نبود ( $P>0/05$ )؛ داده ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار می باشد؛\* داده ها بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک،\*\* میلی موس بر سانتیمتر و\*\*\*میلیگرم در کیلوگرم ماده خشک می باشد.

بر اساس نتایج در ۱۴ روز اول بیشترین مقدار حذف فنانترون در روش ورمی کمپوست میانگین درصد حذف برابر  $91/7 \pm 7/0$  و روش کمپوست هوازی برابر  $89/5 \pm 9/0$  انجام شد؛ لذا این زمان به عنوان زمان حذف موثر در نظر گرفته شد. در نقاط نزدیک به کف راکتور (ارتفاع ۱۰cm) که محل هوادهی است؛ تجزیه بیشتر نسبت به ارتفاع ۵۰cm انجام شد (جدول شماره ۳).

تفاوت معنی داری بین استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست در شرایط هوازی در حذف زیستی فنانترون وجود نداشت ( $P>0/05$ ). در راکتورهای بی هوازی ورمی کمپوست، میزان حذف فنانترون نسبت به راکتورهای بی هوازی کمپوست بیشتر انجام شد. حذف موثر در زمان ۱۰۰ روز در این راکتورها اتفاق افتاد؛ به گونه ای که در این زمان میانگین حذف فنانترون در راکتور کمپوست  $70/5 \pm 6/3$  و در راکتور ورمی

استفاده شد. آنالیز نمونه های خاک پس از خشک شدن با هوا و عبور از الک ۲ میلیمتری بر مبنای استاندارد ASTM در آزمایشگاه مکانیک خاک شهرکرد آنالیز شد. کلیه آزمایشات بر اساس دستورالعمل های موجود در کتاب روش های استاندارد ASTM انجام شد (۱۲). آنالیز داده ها با بکارگیری نرم افزار SPSS و با استفاده از شاخص های مرکزی انجام شد.

## یافته ها:

در این مطالعه به منظور اختلاط خاک با کودهای کمپوست و ورمی کمپوست انجام آنالیز خاک داشته و از طرفی با توجه به اینکه آلاینده (فنانترون) با خاک مخلوط می شود؛ لذا به منظور جلوگیری از اثر مداخله گرهای احتمالی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهرکرد انجام شد (جدول شماره ۱).

## جدول شماره ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه

خاک مورد استفاده

پارامتر	مقدار
منگنز $\mu\text{g/kg}$	$5/02 \pm 2/10$
مس $\mu\text{g/kg}$	$0/91 \pm 0/08$
روی $\mu\text{g/kg}$	$0/40 \pm 0/82$
آهن $\mu\text{g/kg}$	$10/22 \pm 5/30$
فسفر $\mu\text{g/kg}$	$20/00 \pm 4/20$
پتاسیم $\mu\text{g/kg}$	$460/00 \pm 23/00$
تخلخل %	$12/00 \pm 2/00$
دانسیته $\text{g/cm}^3$	$1/40 \pm 0/90$
نسبت کربن به ازت	$1/10 \pm 1/20$
کلور در صد وزنی	$0/02 \pm 0/01$
سولفات در صد وزنی	$0/02 \pm 0/01$
pH	$8/14 \pm 0/05$

داده ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار می باشد.

در مقایسه مشخصات کود کمپوست و ورمی کمپوست دو پارامتر بسیار مهم، مقدار ازت و مقدار کربن است که فعالیت بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می دهد. مقدار این دو پارامتر در دو توده کمپوست معنی دار نبود و به طور کلی اختلاف بین ویژگی های

۸۰±۶/۴ به دست آمد. جهت محاسبه تقریبی میزان فنانترونی که از طریق فرارایت (Stripping) حذف می شود، کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست در راکتورهای بدون فعالیت زیستی (استریل) انجام شد. در این راکتورها، محتویات درون آن ها قبل از بارگذاری به منظور حذف میکروارگانیسم ها و از بین بردن فعالیت زیستی استریل گردید. از راکتورهای کمپوست استریل و ورمی کمپوست استریل به ترتیب در زمان حذف مؤثر فنانترون (۱۴ روز) ۲۸±۶/۰ و ۳۹/۶±۴/۰ درصد فنانترون از طریق فرارایت حذف شد (جدول شماره ۳). با افزایش هوادهی میزان و سرعت تجزیه زیستی فنانترون نیز افزایش می یابد؛ به گونه ای که در زمان

حذف مؤثر (۱۴ روز)، در راکتورهای هوازی کمپوست و ورمی میانگین درصد حذف به ترتیب ۸۹/۵±۹/۰ و ۹۱/۷±۷/۰ بود و در راکتورهای بی هوازی در همین زمان میانگین درصد حذف به ترتیب ۱۹/۲±۵/۱ و ۲۶/۴±۵/۰ به دست آمد (جدول شماره ۳). نتایج نشان می دهد که میزان فرارایت در راکتورهای مشابه؛ ولی بدون فعالیت زیستی به ترتیب حدود ۲۸/۰±۶/۰ و ۳۹/۶±۴/۰ بوده و در زمان ۴۰ روز میزان فرارایت بیشتر شده است، به گونه ای که در راکتور حاوی کمپوست و ورمی کمپوست میانگین درصد حذف به ترتیب به میزان ۴۴/۰±۲/۰ و ۴۵/۶±۲/۳ به دست آمده که این اختلاف معنی دار نبود ( $P>0.05$ ) (جدول شماره ۳).

**جدول شماره ۳: مقایسه میزان حذف فنانترون در راکتور حاوی کمپوست و ورمی کمپوست در زمانه و ارتفاع مختلف**

نوع فرایند	$\bar{x} \pm s$	زمان ها						۱۰۰ روز	
		۱۴ روز		۴۰ روز		۱۰۰ روز		۱۰۰ روز	
		ورودی	خروجی	درصد حذف	ورودی	خروجی	درصد حذف	ورودی	خروجی
کمپوست هوازی	۱۰	۲۵۰	۲۶۲±۱۱/۰	۸۹/۵±۹/۰	۲۵۰	۱۹/۳±۵/۵	۹۲/۳±۱۱/۷	۲۵۰	۶۷/۶±۹/۸
	۳۰	۲۵۰	۳۲/۰±۵/۵	۸۷/۲±۱۰/۰	۲۵۰	۲۰/۷±۴/۵	۹۱/۷±۷/۷	۲۵۰	۶۷/۳±۲/۴
	۵۰	۲۵۰	۳۵/۰±۳/۵	۸۶/۰±۱۵/۰	۲۵۰	۲۴/۰±۴/۵	۹۰/۴±۱۱/۰	۲۵۰	۹۷/۶±۱۰/۰
ورمی کمپوست هوازی	۱۰	۲۵۰	۲۰/۷±۱/۵	۹۱/۷±۷/۰	۲۵۰	۱۷/۵±۳/۵	۹۳/۰±۸/۹	۲۵۰	۶۷/۶±۷/۵
	۳۰	۲۵۰	۲۱/۰±۲/۵	۹۱/۶±۱۱/۰	۲۵۰	۱۸/۷±۲/۵	۹۲/۳±۸/۰	۲۵۰	۹۷/۴±۴/۰
	۵۰	۲۵۰	۲۳/۵±۵/۵	۹۰/۶±۱۳/۰	۲۵۰	۱۹/۳±۲/۳	۹۲/۳±۷/۰	۲۵۰	۹۷/۵±۱۲/۰
کمپوست بی هوازی	۵۰	۲۵۰	۲۰/۲±۱۸/۰	۱۹/۲±۵/۱	۲۵۰	۱۳۲/۰±۲۲	۴۷/۰±۸/۵	۲۵۰	۷۳/۷±۵/۶
ورمی کمپوست بی هوازی	۵۰	۲۵۰	۱۸۴/۰±۲۲/۰	۲۶/۴±۵/۰	۲۵۰	۹۳/۰±۱۱/۰	۶۲/۳±۴/۴	۲۵۰	۵۰/۰±۷/۵
کمپوست استریل	۱۰	۲۵۰	۱۸۰/۰±۵۳/۰	۲۸/۰±۷/۰	۲۵۰	۱۴۰/۰±۳۱/۰	۴۴/۰±۲/۰	۲۵۰	۸۰/۰±۳/۰
ورمی کمپوست استریل	۱۰	۲۵۰	۱۵۱/۰±۳۴/۰	۳۹/۶±۴/۰	۲۵۰	۱۳۷/۰±۲۰/۰	۴۵/۶±۲/۳	۲۵۰	۷۷/۰±۷/۰

\*ارتفاع نمونه برداری (سانتیمتر)؛ ورودها و خروجی ها و همچنین درصد حذف بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم بیان شده؛ اختلاف بین راکتورها در کلیه شاخص ها معنی دار نبود ( $P>0.05$ )؛ داده ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار می باشد.

## بحث:

نتایج این مطالعه نشان می دهد که افزودن مواد مغذی و انجام هوادهی از جمله فاکتورهای مؤثری هستند که می توانند راندمان تجزیه زیستی و در نهایت حذف فنانترون را از خاک های آلوده تحت تأثیر قرار دهند. به طوری که نتایج نشان می دهد، میزان تجزیه پذیری فنانترون با کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست به عنوان منابع غذایی افزایش داشته است که این خصوصیت در راکتورهای

هوازی ورمی کمپوست بیشتر صادق است. دلیل این امر وجود کرم های خاکی است که باعث اختلاط، خرد شدن، تهویه مواد در حال تجزیه شده همچنین کرم ها در نگهداری میزان pH در رنج ۴/۸-۵/۶ نقش مؤثر داشته از طرفی دیگر در فرآیند ورمی کمپوست فعالیت مشترک کرم های خاکی و میکروارگانیسم ها در اکسیداسیون بیولوژیکی فنانترون نقش داشته (۱۴،۱۳) و به عبارتی هر چه مواد غذایی و اکسیژن

رسانی بیشتر، میزان و سرعت تجزیه پذیری فنانترن نیز بیشتر است (۱۵).

در مطالعه Ruberto و همکاران کاربرد تکنولوژی های Bioaugmulation و Biostimulation جهت تصفیه زیستی فنانترن در دو سیستم بیولوژیکی جداگانه مقایسه گردید (باکتری های بومی، کنسرسيوم میکروبی) که نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش نوترینت ها و سورفکتانت ها و تلقیح میکروبی از خاک های قطب جنوب میزان حذف فنانترن  $46/6\%$  درصد طی ۵۶ روز تحت شرایط قطبی کاهش یافت و نشان داد کاربرد جداگانه Bioaugmulation و Biostimulation در حذف فنانترن کارآیی موثری ندارد (۱۶).

بیشترین میزان حذف فنانترن در راکتورهای هوازی ورمی کمپوست در زمان ۱۴ روز اتفاق افتاده است (به این زمان، زمان حذف موثر گفته شده است) به گونه ای که راکتور هوازی ورمی کمپوست با میانگین درصد حذف  $91/7 \pm 7/0$  از غلظت فنانترن اولیه بیشترین راندمان را داشته است؛ ولی تفاوت معنی داری با راکتورهای هوازی کمپوست در حذف فنانترن نداشته است.

همچنین در راکتورهای هوازی در نقاط نزدیک به محل هوادهی (بستر راکتور) درصد حذف بیشتر از ارتفاعات بالای راکتور است؛ به گونه ای که در راکتور کمپوست میانگین درصد حذف موثر در پایین راکتور  $89/5 \pm 9/0$  و در بالای راکتور  $86/0 \pm 15/0$  و در راکتور ورمی میانگین درصد حذف موثر در پایین راکتور  $91/7 \pm 7/0$  و در بالای راکتور  $91/6 \pm 11/0$  بود که این اختلاف معنی دار نبود. با بررسی نتایج راکتورهای بی هوازی و مقایسه با راکتورهای مشابه هوازی مشاهده می شود، زمان حذف موثر در راکتورهای بی هوازی ۱۰۰ روز است به گونه ای که راکتور بی هوازی کمپوست  $70/5 \pm 6/3$  و راکتور بی هوازی ورمی کمپوست  $80/0 \pm 8/7$  غلظت فنانترن اولیه را در این زمان کاهش داده اند؛ پس می توان نتیجه

گرفت فعالیت زیستی، در شرایط بی هوازی نیز قادر به حذف فنانترن از خاک های آلوده می باشد؛ ولی در راکتورهای هوازی زمان حذف موثر ۱۴ روز بود. با کاربرد کود ورمی کمپوست میزان حذف افزایش داشته است که دلیل این امر تفاوت در ساختار شیمیایی و فیزیکی کود ورمی کمپوست است.

با بررسی نتایج راکتورهای بدون فعالیت زیستی (استریل) مشاهده می شود، میزان فراریت فنانترن سیری صعودی داشته به طوری که در زمان ۱۴ روز از راکتورهای استریل کمپوست و ورمی کمپوست به ترتیب ۲۸ و  $39/6\%$  درصد فنانترن به علت فراریت زوده می شود. در حالی که در راکتورهای هوازی در زمان ۱۴ روز حدوداً ۹۰ درصد فنانترن حذف می شود؛ پس می توان نتیجه گرفت در راکتور کمپوست میزان فراریت کمتر و حدود ۶۰ درصد حذف فنانترن به علت فعالیت زیستی اتفاق افتاده است.

نظر به اینکه کود کمپوست و ورمی کمپوست استفاده شده از فضولات حیوانی و زایدات گیاهی حاصل شده است که این زایدات گیاهی ترکیبات نفتی را به خود جذب می کنند. در واقع از نفوذ این ترکیبات به عمق های پایین تر خاک جلوگیری می کنند و همچنین از میزان و سرعت فراریت این ترکیبات به اتمسفر می کاهند. از نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت میزان فراریت در زمان حذف موثر در راکتور حاوی کمپوست کمتر از راکتور ورمی است. این تفاوت برابر ۱۱ درصد بود؛ لذا به منظور جلوگیری از فراریت این ترکیبات و زیست پالایی این ترکیبات کود کمپوست بر ورمی کمپوست ارجعیت دارد.

در تحقیق Contreras-Ramos و همکاران مشخص شد، حذف ترکیبات نفتی مثل آنتراسن، بنزوالفا پیرن و فنانترن از خاک با روش کمپوست به میزان ۶۳، ۵۸ و ۱۰۰ درصد و با ورمی کمپوست به ترتیب ۹۱، ۱۶ و ۹۹ درصد و در خاک معمولی به میزان ۴۲، ۳ و ۹۵ درصد در مدت ۷۰ روز به دست آمد که

بیانگر تأثیر بیشتر ورمی کمپوست نسبت به کمپوست برای حذف ترکیبات نفتی مثل فنانترن از خاک های آلوده بوده که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می کند (۱۷).

در مطالعه Sun و همکاران مشخص شد که حذف پیرن به وسیله ورمی کمپوست بین ۹۱-۴۵/۵ درصد در مدت زمان ۱۴ روز و در روش کمپوست معمولی میزان حذف ۲/۸ تا ۲/۱ برابر کمتر است (۱۸) که این نتایج با هم متناقض است. این محققین علت را اینگونه بیان کردند که فنانترن دارای فشار بخار بالاتر و فراریت زیادتری می باشد و لذا حذف اینگونه ترکیبات با روش کمپوست اثر بخشی بیشتری نسبت به ورمی کمپوست دارد. لازم به ذکر است که میزان فراریت در راکتورهای بی هوازی کمتر از راکتورهای دیگر است. دلیل این امر عدم هوادهی و در نهایت عدم حرکت هوا بین ذرات خاک است و کاهش غلظت فنانترن اولیه بیشتر بر اساس فعالیت زیستی بوده است.

با مقایسه نتایج مطالعات مشابه انجام شده با نتایج به دست آمده از این مطالعه می توان نتیجه گرفت نتایج مطالعات تأیید کننده نتایج این مطالعه می باشند؛ به گونه ای که با انجام عمل هوادهی و کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست به عنوان مکمل های غذایی، باعث تحریک و افزایش باکتری های بومی خاک شده که منجر به افزایش سرعت و میزان تجزیه زیستی فنانترن از خاک های آلوده می گردد (۱۹، ۲۰). این امر باعث می شود از ورود این ترکیب سرطان زای خطرناک به هوا نیز جلوگیری نمود.

از نتایج به دست آمده می توان راندمان خوب اختلاط خاک آلوده با کودهای کمپوست و ورمی کمپوست به نسبت (۲ به ۱) را در حذف فنانترن نتیجه گیری کرد. نظر به اینکه ساخت و راه اندازی کارخانه های کمپوست در کشور در حال اجراست و از لحاظ قیمت

نیز تولید کمپوست مناسب است و یکی از مزایای کنترل زباله های شهری محسوب می شود؛ می توان از نتایج این مطالعه نتیجه گرفت که با مصرف کمپوست در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی می توان با فرایند زیست پالایی که ارزان، ساده و سازگار با محیط زیست است با حفظ فلور میکروبی خاک اقدام به حذف فنانترن از خاک های آلوده نمود.

### نتیجه گیری:

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در دمای محیط با کمک باکتری های بومی موجود در خاک و افزودن کمپوست و ورمی کمپوست می توان به روش تحریک میکروارگانیسم ها در شرایط هوازی و غیر هوازی اقدام به تجزیه زیستی ترکیبات پلی آروماتیک نفتی از خاک های آلوده نمود.

با توجه به اینکه کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست باعث بهبود کیفیت فیزیکی خاک می گردد و منجر به افزایش خلل و فرج خاک می شود که این خلل و فرج سبب می گردد که هوادهی موثرتر و آسان تر انجام پذیرد. این خاصیت باعث می شود که زمان حذف موثر فنانترن در راکتورهای هوازی کاهش یابد. نظر به کیفیت بهتر کود ورمی کمپوست، در شرایط هوازی و بی هوازی راندمان حذف فنانترن نسبت به کود کمپوست بیشتر بوده که در شرایط بی هوازی این تفاوت آشکارتر است.

### تشکر و قدردانی:

نویسندگان بر خود لازم می دانند تا از همکاری کارشناسان آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایند.

### منابع:

1. Contreras-Ramos SM, lvarez-Bernal DA, Dendooven L. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*). Soil Biol Biochem. 2008; 40(7): 1954–59.

2. Panda SK, Kar RN, Panda CR. Isolation and identification of petroleum hydrocarbon degrading microorganisms from oil contaminated environment. *Int J Eng Sci.* 2013Mar; 3(5): 1314-21.
3. Kostka JE, Prakash O, Overholt WA, Green SJ, Freyer G, Canion A, et al. Hydrocarbon-degrading bacteria and the bacterial community response in gulf of mexico beach sands impacted by the deepwater horizon oil spill. *Appl Environ Microbiol.* 2011; 77(22): 7962-74.
4. Edema CU, Idu TE, Edema MO. Remediation of soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons from crude oil. *Afr J Biotechnol.* 2011; 10(7): 1146-49.
5. Essumang DK, Adokoh CK, Afriyie J, Mensah E. Source assessment and analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH's) in the Oblogo waste disposal sites and some water bodies in and around the Accra Metropolis of Ghana. *J Water Resource Prot.* 2009; 1(6):456-68.
6. Nunez EV, Valenzuela-Encinas C, Alcantara-Hernandez RJ, Navarro-Noya YE, Luna-Guido M, Marsch R. Modifications of bacterial populations in anthracene contaminated soil. *Appl Soil Ecol.* 2012Oct; 61: 113–26.
7. Nikolopoulou M, Pasadakis N, Kalogerakis N. Evaluation of autochthonous bioaugmentation and biostimulation during microcosm-simulated oil spills. *Mar Poll Bull.* 2013 Jul; 72(1): 165-73.
8. Hemalatha S, Veeramanikandan P. Characterization of aromatic hydrocarbon degrading bacteria from petroleum contaminated sites. *J Environ Protect.* 2011May; 2: 243-54.
9. Geetha SJ, Joshia SJ, Kathrotiya S. Isolation and characterization of hydrocarbon degrading bacterial isolate from oil contaminated sites. *Apcdee Procedia.* 2013; 5: 237-41.
10. Gomez-Eylesa JL, Collinsa CD, Hodsona ME. Using deuterated PAH amendments to validate chemical extraction methods to predict PAH bioavailability in soils. *Environ Pollut.* 2011 April; 159(4): 918–23.
11. Hait S, Tare V. Optimizing vermin stabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste Manage.* 2011 Mar; 31(3): 502–11.
12. American Society for Testing Materials (ASTM). Engineering, Strength of materials, Building materials. Philadelphia; University of Toronto; 2009.
13. Hashemimajd K, Jamaati-e-Somarin SH. Study of structural changes in organic matter during the composting and vermicomposting production. *J Sci Technol Agric Natur Resour.* 2013; 17 (63): 23-5.
14. Suthar S. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecol Eng.* 2009; 35(5): 914–20.
15. Li Z, Lu H, Ren L, He L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere.* 2013 Oct; 93(7): 1247-57.
16. Ruberto L, Vazquez S, Curtosi A, Pelletier E, Lobalbo A, Mestre M. Improving bioremediation of Phenanthrene contaminated antarctic soils by addition of surfactants, organic source of nutrients and a bacterial consortium. *Biorem J.* 2006; 10(4): 191-201.
17. Contreras-Ramos SM, Alvarez-Bernal A, Dendooven L. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms and (*Eisenia fetida*). *Soil Biol Biochem.* 2008; 40(7): 1954–59.
18. Sun H, Li J, Wang C, Wang L, Wang Y. Enhanced microbial removal of pyrene in soils in the presence of earthworms. *Soil and Sediment Contam.* 2011; 20:617–30.
19. Jing YP, Liu MQ, Yin QP, Li HX, Hu F. Effects of earthworms and ryegrass on the removal of fluoranthene from soil. *Pedosphere.* 2013; 23 (4): 523–31.
20. Chi FH, Leu MH, Chun-Wen Tsao CW, Shiu GC. Removal of anthracene contaminated soil using micro- emulsified. *Sustain Environ Res.* 2011; 21(3): 181-6.



## **Comparison to add compost and vermicompost for removal diesel contamination soils using aerobic and anerobic reactor**

Mohammadi V, Fadaei AM\*, Sadeghi M, Arbabi M

Environmental Health Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran.

Received: 22/Mar/2014      Accepted: 16/Jun/2014

**Background and aims:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are a class of potentially hazardous chemicals of environmental and health concerns. This compounds exhibit toxic, carcinogenic and mutagenic properties and are listed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) as priority pollutants. The aim of this study was the comparison of aerobic and anerobic biodegradation of diesel contamination soils using municipal soil was to and vermicompost.

**Methods:** This experimental study was accomplished in pilot scale with application of a copmpost pile consisting 1000:120 ratio gram soils to gram of petroleum. This mixture was then mixed in a ratio of 1:2 with compost and vermicompost fertilizer separately (two parts soil and one part compost and/or vermicompost). In this research, phenantheren (phc), a three benzene ring compound, was selected as a PAHs representative. Phenanthrene concentration was measured using HPLC after extraction from contaminated soils by ultrasonic method.

**Results:** The results showed that the effective degradation of phc occures during two first weeks, and then the removal rate was decreased gradually. The decomposition rate on phc in the aerobic compost and vermicompost reactors was  $89.5 \pm 9.1$  and  $91.7 \pm 7.0$ , respectively. At the same time,  $19.2 \pm 5.1$  and  $26.4 \pm 5.0$  of phc was removed in the anaerobic compost and vermicompost reactors, respectively. According to the results, phc maximum removal rate of  $91.7 \pm 7.0$  was achived in the aerobic vermicompost reactor.

**Conclusion:** This study can be concluded that, with application of bioremediation at the ambient temperature, the polycyclic aromatic hydrocarbons may be removed from oil contaminated soils.

**Keywords:** Bioremediation, PAHs, Oil contaminated soil, Compost, Vermicompost.

**Cite this article as:** Mohammadi V, Fadaei AM, Sadeghi M, Arbabi M. Comparison to add compost and vermicompost for removal diesel contamination soils using aerobic and anerobic reactor. J Shahrekord Univ Med Sci. 2015; 16(6): 92-100.

---

**\*Corresponding author:**

Environmental Health Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran.  
Tel: 00983833330299, E-mail: ali2fadae@yahoo.com